

長野県白馬村におけるヒートアイランドの日変化・季節変化

榊原保志*・森田昭範**

要 旨

長野県白馬村において、ヒートアイランドの時間的な変化を検討するために、自動車による全73地点の移動観測を83回行った。ヒートアイランド強度は全測定地点のうち市街地気温の上位3地点の観測値の平均と郊外気温の下位3つの平均の差として求めた。さらに約1年間にわたり郊外の水田域中央部に臨時に設置した定点観測を実施し、市街地にある白馬アメダスの観測値との差をとることにより、都市と郊外の気温差を求めた。その結果、次のことが明らかになった。積雪期のヒートアイランド強度は他の時期よりも大きく、その変動も大きい。都市と郊外の気温差が大きくなる月は夜間(20時)においては1月、3月、4月と9月であり、日中では7月・8月が大きい。積雪期の気温差の日変化パターンはその他の期間と類似し、日の出後急激に小さくなり2~3時間後には上昇に転じ、その後日の入り前後まで急激な増加は続く。灌水期の特徴は14時から15時において極大になる時間帯がある。気温差が最大になる時刻は日の出前ではなく、19時から22時が多い。

1. はじめに

都市の気温が郊外の気温よりも高くなるヒートアイランド現象は、規模や形態は異なるもののすべての都市で発生する。また、1日のうちでも、季節によってもヒートアイランドの出現の程度は変化する。このヒートアイランドの時間的特徴を調べるには都市内外に設置された既存の定点観測所の測定値を用いることが望ましい。ヒートアイランドの日変化や季節変化を議論するには、移動観測では観測インターバルや観測期間・回数に限界がある。

定点観測所の観測値を用いたヒートアイランドの解析はこれまで多くの研究がある(たとえば、山添・一ノ瀬, 1994)。この種のヒートアイランドに関する研究では大きな都市と小さな都市の気温差を大きな都市の効果によるものと仮定しているが、小さな都市自体が都市化の影響を受けているので、この方法は最適でないとする指摘(Morris and Simmonds, 2000)も存在し、観測点の選出には注意を要する。たとえば、郊外

の観測点は典型的な郊外の景観を有する地域の中央部に位置することが望ましいが、アメダスなどの定点観測所が水田の中央部に設けられることはない。このような地点に臨時に定点観測所を設け、ヒートアイランド強度の季節的変化、時刻的変化を調べた研究には榊原ほか(1996)がある。彼らは夏季日中にもヒートアイランドが明瞭に出現することを述べ、それには水田域が灌水されるという土地被覆の変化が関わっていることを指摘している。

この他の土地被覆が大きく変化する要因には冬季の積雪がある。大畑ほか(1985)は積雪があるとヒートアイランドは明瞭に出現することを示した。彼らの調査した市街地は降雪があってもすみやかに除雪されるために気温差が生じたとしている。市街地の雪が除雪されずそのまま残る都市の場合では、ヒートアイランド強度の年変化には積雪の影響は認められないとしている(榊原, 1999)。両者の研究は、移動観測もしくは短期間の定点観測による結果であり、詳細な季節変化や日変化を調べたものではない。

本研究では積雪を含めた郊外の都市被覆の変化に対するヒートアイランドの時間的発達過程を調べることを目的とする。特に本稿では1年を積雪期、灌水期、

* 信州大学教育学部。 ** 大北農業協同組合。

—2001年11月7日受領—

—2002年8月21日受理—

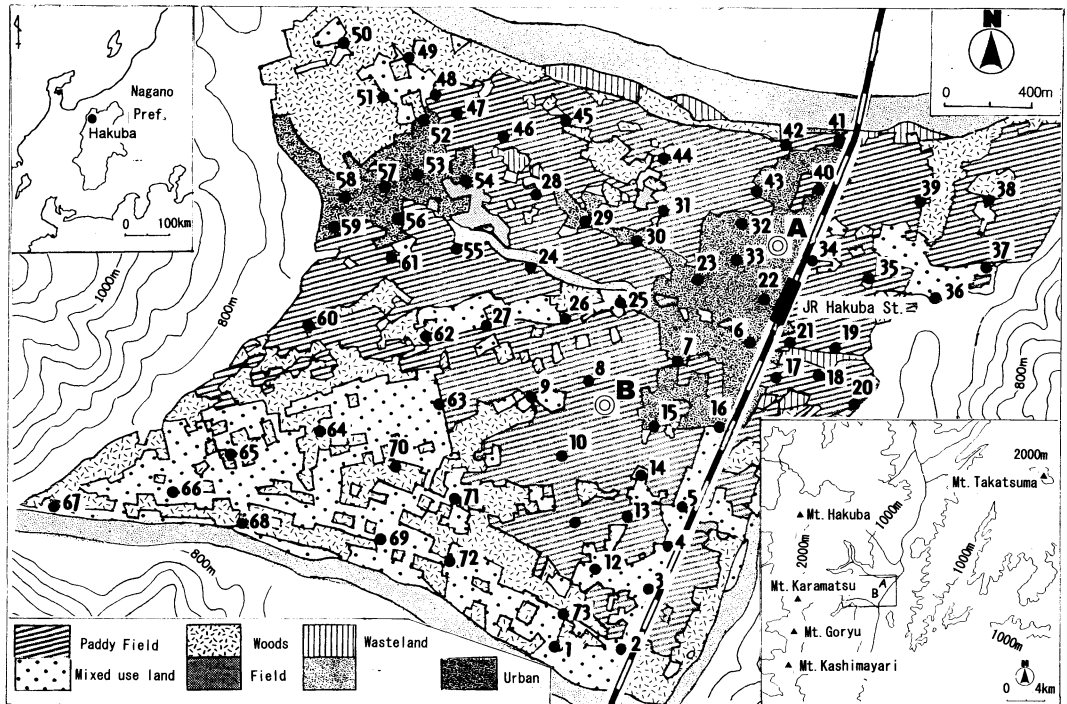


Fig. 1 Location and land use map of Hakuba, Nagano. Number 1-73 indicates observational point.

その他の期間に分けて、都市と郊外の気温差の日変化や季節変化の特徴について検討する。

2. 調査地域の概要

長野県北安曇郡白馬村は、長野県の北西に位置し人口9589人（2001年1月1日現在）を有する観光地である（第1図）。数字は観測地点番号を示す。白馬村役場（第1図地点A）における標高はおよそ700mである。白馬村には日本有数のスキーリゾートエリアがあり、調査地域においても冬季は積雪深が1mを超える。この点がヒートアイランドへの積雪の影響を調べるのに好都合であった。山岳部を除く土地利用の大半は水田や畑の農地となっている。

調査対象地域内には、市街地は2か所あり、1つはJR白馬駅西側の「白馬町」及び「八方口」の集落（以下白馬町と呼ぶ、第1図地点22付近）と、もう1つは調査対象地域西側の「八方」の集落（以下八方と呼ぶ、第1図地点53付近）が存在する。白馬町は人口1456人（2001年1月1日現在）を有し、建物の多くは2階建ての民家からなり、一部に3～4階建ての建物がある。集落内を国道が縦断するために、中心部である駅前における天空率は比較的大きい。

一方、八方は人口600人（2001年1月1日）を有し、スキー客などの観光客を収容するための旅館・ホテルが立ち並び、道幅は狭いため、天空率は小さい。

また、みそら野付近一帯は針葉樹に覆われているが、その林の中に、ホテル、旅館や別荘が点在し、エコランド（地点63-64）と呼ばれる観光客向けの飲食・土産店街がある。

白馬町・八方の周辺には水田域が広がっている。当地域における水田に水が張られる作業は5月上旬に一斉に見られたが、水を抜く作業は8月中旬より9月上旬にかけて、稲の生育に応じて水田ごとに徐々にわれ、灌水期終了日は明瞭でない。

JRの線路に西側に平行して南北方向に国道148号が貫き、通年、夜間大型トラックなどの交通量が多い。5月の連休の日中には、この国道に沿って白馬駅前（地点22）を中心に渋滞が生じる。国道の西側の山麓には、通称オリンピック道路・安曇野アートラインとよばれる村道（地点1から10・27を経て54まで）がスキー場等へのアクセス道路として利用され、スキーシーズンや夏季観光シーズンに、一般車の交通量が多く、週末夕方になると渋滞も発生する。

Table 1 Observation time and associated meteorological data at Hakuba AMeDAS.

No.	移動観測					白馬アメダス					期間
	観測日時		雲量		$\Delta T(^{\circ}C)$	時刻	風速 m/s	積雪 cm			
			少	多						白馬八方	
1	2000.1.27	20:54-21:49	○		2.1 1.6	21:00	0	4	積雪期		
2	1.28	22:30-23:35	○		2.1 2.9	23:00	0	4			
3	1.29	13:38-14:37	○		2.2 1.7	14:00	2	4			
4	1.29	20:27-21:24	○		2.0 2.9	21:00	0	4			
5	2.1	21:37-22:33	○		1.6 1.3	22:00	0	5			
6	2.3	21:27-22:25	○		2.1 2.3	22:00	0	5			
7	2.4	22:15-23:14	○		3.0 4.1	23:00	0	13			
8	2.5	21:41-22:35	○		2.6 3.4	22:00	0	8			
9	2.7	23:01-23:59	○		1.9 1.6	23:00	0	9			
10	2.8	21:43-22:39	○		1.7 1.3	22:00	1	11			
11	2.10	21:50-22:49	○		2.9 4.5	22:00	0	27			
12	2.12	20:38-21:41	○		1.3 1.3	21:00	3	26			
13	2.18	21:37-22:36	○		1.3 0.8	22:00	2	53			
14	2.29	21:47-22:55	○		1.3 1.1	22:00	1	99			
15	3.1	20:43-21:45	○		4.1 4.9	21:00	0	90			
16	3.2	20:06-21:19	○		2.8 3.3	21:00	1	80			
17	3.18	21:25-22:35	○		1.9 2.3	21:00	0	70			
18	3.27	21:46-22:53	○		2.3 2.9	22:00	1	81			
19	4.12	22:31-23:19	○		1.7 2.3	23:00	1	0	非灌水期		
20	4.13	22:33-23:22	○		1.5 1.9	23:00	1	0			
21	4.14	20:39-21:28	○		2.4 2.5	21:00	0	0			
22	4.14	22:38-23:24	○		1.3 1.0	23:00	0	0			
23	4.22	20:40-21:32	○		2.0 1.6	21:00	2	0			
24	4.23	13:42-14:35	○		2.6 1.7	14:00	3	0			
25	4.30	13:35-14:35	○		1.3 1.0	14:00	2	0			
26	4.30	16:36-17:31	○		1.0 0.9	17:00	1	0			
27	5.1	22:34-23:36	○		1.3 1.4	23:00	1	0			
28	5.3	13:29-14:31	○		2.5 2.8	14:00	3	0	灌水期		
29	5.3	16:35-17:58	○		1.6 1.2	17:00	3	0			
30	5.3	19:37-20:30	○		1.1 1.8	20:00	2	0			
31	5.3	22:30-23:26	○		1.4 1.5	23:00	1	0			
32	5.4	13:41-14:52	○		2.7 1.9	14:00	3	0			
33	5.18	21:35-22:24	○		1.7 1.8	22:00	1	0			
34	5.19	13:24-14:25	○		1.2 0.7	14:00	2	0			
35	5.30	20:19-22:40	○		1.8 1.8	21:00	0	0			
36	6.4	13:38-14:34	○		1.6 2.0	14:00	2	0			
37	6.4	21:30-22:29	○		1.6 1.2	22:00	0	0			
38	7.3	20:34-21:26	○		2.2 1.5	21:00	0	0			
39	7.9	20:42-21:32	○		1.2 1.3	21:00	1	0			
40	7.10	13:44-14:39	○		1.8 1.8	14:00	3	0			
41	7.11	22:40-23:31	○		1.7 1.7	23:00	1	0			
42	7.12	13:29-14:20	○		1.3 1.9	14:00	1	0			
43	7.12	22:27-23:19	○		2.1 1.3	23:00	1	0			
44	7.16	20:39-21:29	○		2.0 1.9	21:00	0	0			
45	9.18	20:41-21:34	○		1.3 1.0	21:00	0	0	非灌水期		
46	9.18	22:37-23:25	○		1.2 1.1	23:00	0	0			
47	9.19	13:48-14:39	○		1.2 1.6	14:00	2	0			
48	9.21	20:42-21:32	○		2.1 2.2	21:00	1	0			
49	10.7	20:39-21:30	○		1.3 1.5	21:00	1	0			
50	10.7	22:39-23:29	○		1.4 1.3	23:00	0	0			
51	10.8	0:37-1:25	○		1.2 1.7	1:00	1	0			
52	10.8	2:35-3:22	○		1.1 1.5	3:00	0	0			
53	10.8	4:41-5:34	○		1.0 1.3	5:00	0	0			
54	10.8	6:35-7:27	○		0.7 1.3	7:00	1	0			
55	10.8	20:39-21:33	○		1.2 1.1	21:00	0	0			
56	10.26	21:47-22:43	○		0.8 0.4	22:00	1	0			
57	10.27	21:38-22:33	○		0.7 0.8	22:00	0	0			
58	10.27	22:39-23:39	○		0.9 0.9	23:00	0	0			
59	10.31	22:45-23:38	○		0.9 0.7	23:00	1	0			
60	11.3	13:46-14:45	○		1.1 0.9	14:00	1	0			
61	11.4	0:40-1:34	○		0.9 1.2	1:00	0	0			
62	11.4	13:42-14:41	○		1.8 2.5	14:00	2	0			
63	11.4	20:39-21:33	○		1.6 0.7	21:00	2	0	積雪期		
64	11.7	21:41-22:35	○		1.7 2.1	22:00	1	0			
65	11.10	7:41-8:38	○		1.2 0.9	8:00	0	0			
66	11.10	14:35-15:34	○		2.0 2.5	15:00	2	0			
67	11.10	21:41-22:34	○		1.1 1.0	22:00	1	0			
68	11.13	21:37-22:30	○		2.5 1.4	22:00	0	0			
69	11.23	13:51-14:41	○		1.0 1.3	14:00	2	0			
70	11.23	22:37-23:24	○		1.4 0.8	23:00	0	0			
71	11.24	20:40-21:34	○		1.0 1.0	21:00	1	0			
72	12.1	20:46-21:41	○		1.8 1.4	21:00	0	0			
73	12.2	13:43-14:39	○		1.0 0.9	14:00	1	0			
74	12.2	20:42-21:32	○		1.5 1.4	21:00	0	0			
75	12.4	21:34-22:26	○		1.7 1.1	22:00	0	0			
76	12.9	20:39-21:28	○		1.5 1.8	21:00	0	0			
77	12.9	22:38-23:24	○		1.3 1.7	23:00	1	0			
78	2001.1.20	13:35-14:43	○		1.7 0.9	14:00	1	80	積雪期		
79	1.21	20:31-21:34	○		2.5 2.4	21:00	1	89			
80	1.24	13:41-14:51	○		1.4 1.5	14:00	1	77			
81	2.5	13:31-14:59	○		1.7 1	14:00	1	98			
82	2.12	20:36-21:36	○		3.3 2.9	21:00	0	94			
83	2.23	13:33-14:32	○		2.8 2	14:00	3	64			

3. 調査の方法

3.1 移動観測

観測地点はほぼ300 m 四方に1地点の測定を考えた観測地点を選んだ。地点69及び70の路面は砂利だが、その他の地点は全てアスファルトである。

観測は第1図の地点番号順に自動車移動しながら行った。1回の観測には約60分要した。この移動観測

は、2000年1月27日から2001年2月23日までの14時前後及び日没後数時間の時間帯で、降水のない時を選び、延べ83回実施した(第1表)。また、雲量は観測直前に目視観測した。

気温の測定は、サーミスタ温度センサ(日置電機製、9021-01)を用いた。塩化ビニルパイプの外側をアルミシートで覆って作った放射よけの内部にこの温度セン

サを取り付け、観測車のルーフキャリアに固定した塩化ビニルパイプの先端につないだ。この際、観測車のボンネットによる熱の影響を避けるため、温度センサが自動車のバンパ上部、地上高1.5 mに位置するようにした。なお測定は走行しながら行うので、特別な通風装置は設けていない。

観測終了後、ハンドヘルドコンピュータからRS232Cケーブルを経由してデスクトップ型パソコンにデータを転送し、表計算ソフトを使用して解析を行った。また、移動観測中頃に最も近い正時を基準として個々の観測値を時差補正した。

3.2 定点観測

ヒートアイランドの時間的変化を調べるためには、少なくとも都市と郊外をそれぞれ代表するところに定点観測所が必要となる。都市代表地点の気温は、白馬駅近くにある白馬アメダス（第1図、地点A）を利用した。気温は通常地上高1.2～1.5 mで観測されるが、白馬アメダスでは積雪のために、通年3 mのところにセンサが設置されている。

白馬アメダスの降水量・積雪深データも、観測地域における毎正時の気象状況を代表するデータとして利用した。

一方、郊外の代表地点として駅南西の水田域中央に定点観測所を設けた（第1図、地点B）。この地点は、周囲が水田からなる都市の影響がない地域で、予備観測の結果、低温域とみなせる場所に位置している。サーミスタセンサを自然通風放射除け（コーナシステム製、KDC-A1-6）の中に収納し、冬季の積雪を見込んで地上高2.0 mになるように固定した。ただし、自然通風放射除けは、8月の事例では日の出後から正午前の時間帯において強制通風のものと比べ気温測定値を過大評価する特性があるとされる（牛山，2000）。そして2000年5月2日10時から、翌年5月3日15時までの毎正時の気温データを測定し、データログ（コーナシステム製、KADEC-US）で記録した。

3.3 ヒートアイランド強度の定義

ヒートアイランドの出現は、都市と郊外の気温差により表され、市街地及び郊外の代表地点の決定がきわめて重要となる。

白馬町は駅前をとる国道などの交通を中心に形成される商店街であるのに対し、八方はホテル・旅館などから形成されている。両地区は同じ市街地でも質的に異なることが予想される。さらに、両者の間には水田域があることから、両者を連続した市街地と見なせ

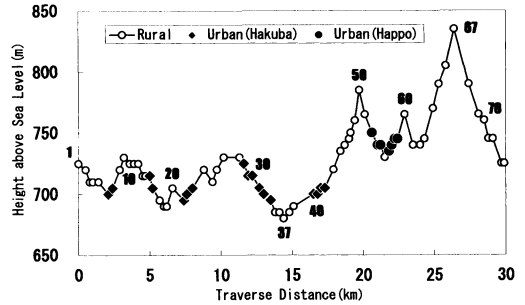


Fig. 2 The distribution of height above the sea level of observational points and the distance from St.1.

ないと判断した。

そこで、本研究では白馬町・八方の両集落において、別々にヒートアイランド強度（以下 ΔT と呼ぶ）を算出する。市街地として選んだ地点は現地調査により、白馬町では、第1図の地点6、7、15、16、21～23、30～34、40～43、八方では、地点52～54、56～59とした。

第2図は地点1からの移動距離に対する観測地点の標高差をあらわしたものである。図から分かる通り、観測地点は標高680 m（地点37）から標高835 m（地点67）にわたって分布しており、最大で155 mの標高差がある。田宮（1979）によれば、移動観測の精度は 0.5°C 程度であるとされており、気温減率を $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ とすると、気温差が 0.5°C になる標高の幅は $\pm 50\text{ m}$ 程度になる。

市街地域の標高は白馬町で695 m～715 m、八方で735 m～750 mと、いずれも標高差50 m以内に入っているため、白馬町の郊外は標高680 m～730 m、八方の郊外は標高715 m～765 mの範囲とした。

Oke（1973）によれば、ヒートアイランド強度 ΔT_{ur} は都市の観測値の中で最も高い気温の値と、郊外のバックグラウンドの気温の差と定義されている。本研究では都市における気温が高い上位3地点の平均値から郊外における下位3地点の平均値を引いた差とした。この方法によるヒートアイランド強度はOke（1973）の定義されるものより小さくなるが、ヒートアイランドの観測誤差を小さくするには適している。というのも、1地点の測定値では、移動観測中の対向車や前を走る自動車の排気ガスによる一時的な気温上昇や、局地的な冷気による異常低温値をひろった観測値を含む危険性があるからである。

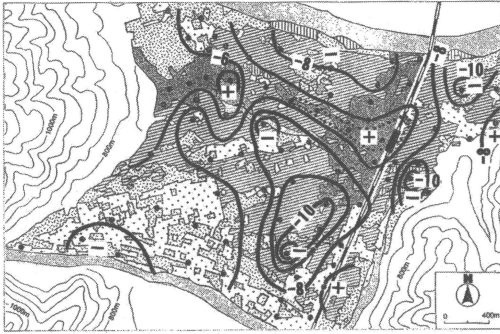


Fig. 3 The horizontal air temperature distribution (°C) in Hakuba on March 1, 2000 at 21:00, with clear sky and calm.

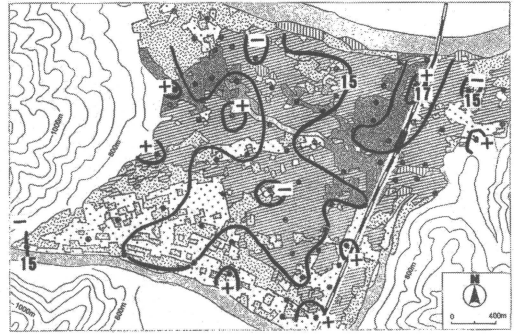


Fig. 4 The horizontal air temperature distribution (°C) in Hakuba on May 4, 2000 at 14:00, with a clear sky and NE wind of 3m/s.

そこで本研究では、白馬町と八方におけるヒートアイランド強度をそれぞれ以下のように定義した。

$$\Delta T_{u-r(Hakuba)} = (\text{白馬町気温上位3地点平均}) - (\text{標高680} \sim 730 \text{ m 気温下位3地点平均})$$

$$\Delta T_{u-r(Happo)} = (\text{八方気温上位3地点平均}) - (\text{標高715} \sim 765 \text{ m 気温下位3地点平均})$$

また、白馬アメダスの気温を T_A 、郊外定点気温における気温を T_B とすると、定点観測の気温差を、以下のように定義した。

$$\Delta T_{A-B} = T_A (\text{白馬アメダス気温}) - T_B (\text{郊外定点気温})$$

4. 移動観測による気温分布とヒートアイランド強度

ここでは前述のように降水がない天候下において実施された移動観測の結果について述べる。

4.1 日中と夜間の代表的な気温分布

ヒートアイランドが明瞭に現れた夜間（2000年3月1日21時）の水平気温分布を第3図に示す。天候は快晴で、風のない静穏な夜であった。白馬町や八方付近の消雪道路（第1図、地点16から22を経て41までと、地点22・23間、及び地点54から53を経て58まで）以外の道路はほぼ冠雪していた。駅に隣接する白馬町（地点22付近）と駅西方1.8 kmの八方口（地点58付近）の2つの地区でヒートアイランドが形成されていることがわかる。駅南南西方向の地域（地点10, 11, 14, 15付近）および駅東側の2箇所（地点18付近, 地点39付近）が低温になっているが、いずれもここは水田域である。ちなみに、 $\Delta T_{u-r(Hakuba)}$ は 4.1°C 、 $\Delta T_{u-r(Happo)}$ は 4.9°C であった。また、西側斜面部分（地点50と地点60）が高温傾向になっている。ここは都市化というよりも

斜面温暖帯の影響による可能性があり、この部分の観測値を利用するには注意を要する。

次に、日中最も明瞭にヒートアイランドが出現した例を第4図に示す。観測日時は、2000年5月4日14時である。天候は晴れで、北東の風 3 m/s が吹いていた。低温域が出現する場所は、第3図とほぼ同様であるが、夜間ほど明瞭ではない。

4.2 日中と夜間の平均気温偏差分布

降水がない場合における気温分布の平均状態を調べるため、日中は14時頃、夜間は21時頃の観測例を選んだ。その結果、第1表の観測事例のうち No. 22, 26, 29, 31, 45, 50-54, 58, 61, 65, 74, 77の15例は対象外とし、夜間は49例、日中は19例を対象事例に選出した。

夜間における全地点全例の平均気温から、地点の全例平均の偏差を求め、平均気温偏差分布を第5図aに示す。図から分かるように、白馬町・八方共に高温部が形成されている。駅南西に見られる高温部（地点63・64）は、エコランドの集落によるヒートアイランドと思われる。低温域は白馬町の南西・北西・東側にある水田域と、調査地域の南西側に位置するみそら野に認められる。

一方、日中になると夜間明瞭であった八方のヒートアイランドが弱いものの、ほぼ類似した気温偏差分布が見られた（第5図b）。さらに夜間の観測結果を積雪期（19例、第5図c）と無積雪期（30例、第5図d）に分けて、平均気温偏差分布を調べたところ、気温偏差パターンは同様な傾向を示した。

4.3 ヒートアイランド強度の年変化

白馬におけるヒートアイランド強度 $\Delta T_{u-r(Hakuba)}$ の

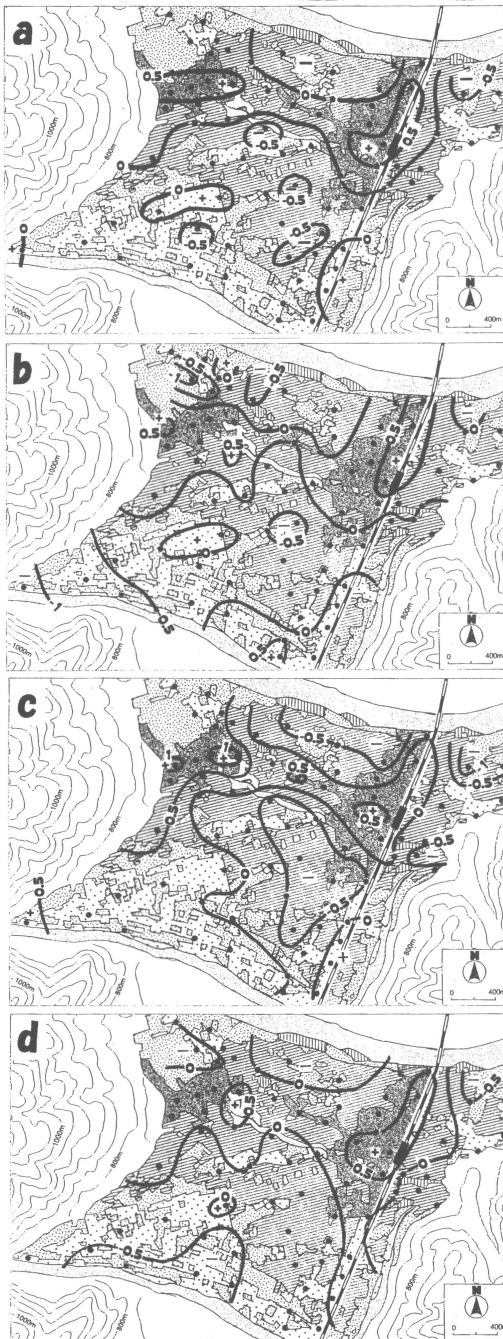


Fig. 5 The mean air temperature deviation distribution ($^{\circ}\text{C}$).
a : nighttime, b : daytime, c : nighttime with snow cover, d : nighttime without snow cover.

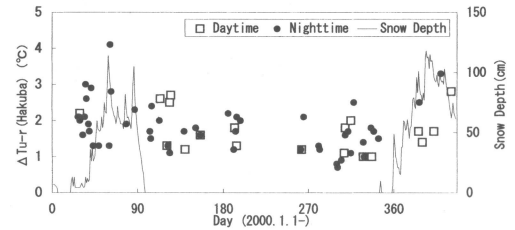


Fig. 6 The seasonal variation in heat island intensity and snow depth in Hakuba.

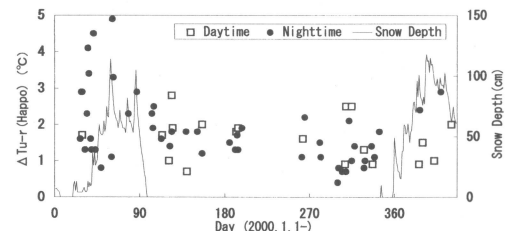


Fig. 7 The seasonal variation in heat island intensity and snow depth in Happo.

年変化を第6図に示す。横軸は2000年1月1日からの積算日、縦軸には $\Delta T_{u-r}(\text{Hakuba})$ 及び積雪深をとり、前節と同じ観測事例を対象としてプロットしたものである。無積雪期夜間(30例)では、 $\Delta T_{u-r}(\text{Hakuba})$ は、 0.7°C から 2.5°C の範囲で(平均 1.56°C 、標準偏差 $\text{SD}=0.46$)であるのに対し、積雪期夜間(19例)では 1.3°C から 4.1°C (平均 2.18°C 、標準偏差 $\text{SD}=0.73$)と、変動幅が広がっている。同様の解析を八方についても行うと、無積雪期夜間で 0.4°C から 2.5°C (平均 1.44°C 、標準偏差 $\text{SD}=0.52$)であるのが、積雪期夜間で 0.8°C から 4.9°C (平均 2.50°C 、標準偏差 $\text{SD}=1.25$)となった(第7図)。このことから、積雪は、夜間のヒートアイランド強度を大きくし、変動も大きくする可能性がある。

このことは郊外に積もった雪の質と関係があると予想できる。積雪が軽い新雪の場合、雪の密度は小さく熱伝導率も小さい(近藤, 2000)。夜間の放射冷却により地表面の熱が放出されるとき、熱伝導率が小さい物質ほど地中からの熱供給量が少なく、地表面温度は下がりやすい。また、密度が小さいと単位体積あたりの熱容量が小さくなり同じ熱量が奪われたとしても表層部分では大きな温度低下を引き起こす。その結果、地表面温度が下がりヒートアイランドはさらに発達するものと考えられる。

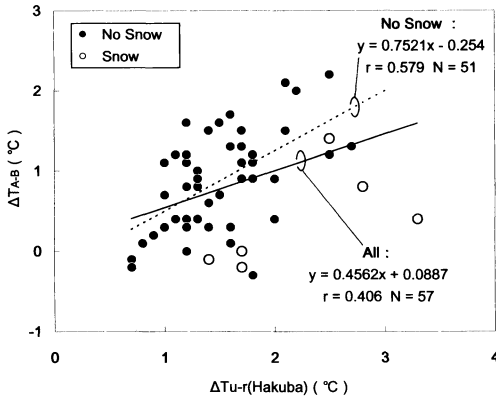


Fig. 8 The comparison between heat island intensity ΔT_{u-r} and temperature difference ΔT_{A-B} .

5. 定点観測による都市と郊外の気温差

都市と郊外の定点観測所において毎正時に1年間観測された気温をもとに都市と郊外の気温差の特徴を検討する。

5.1 移動観測と定点観測で得られた ΔT の関係

2つの定点観測の気温差による都市と郊外の ΔT_{A-B} が白馬町のヒートアイランド強度 $\Delta T_{u-r}(\text{Hakuba})$ と対応するかを検討した。なお、移動観測が行われた天候は前述のように降水がないケースなので、この解析は無降水日におけるものである。

郊外の定点観測が行われた2000年5月3日以降で、移動観測が行われた時間に最も近い正時における白馬アメダスの気温 (T_A) と白馬町における気温上位3地点平均値 ($T_{u(\text{Hakuba})}$)、定点観測の気温 (T_B) と標高680–730 mの気温下位3地点平均 ($T_{r(\text{Hakuba})}$) の相関をとると、相関係数はそれぞれ0.999であった。なお、サンプル数はいずれも57である。そして、 $T_{u(\text{Hakuba})} - T_A$ では平均0.58°C、標準偏差 $SD=0.38$ 、 $T_{r(\text{Hakuba})} - T_B$ では平均−0.17°C、 $SD=0.52$ であった。

次に、第8図は定点観測から求めた気温差 ΔT_{A-B} と移動観測から求めたヒートアイランド強度 $\Delta T_{u-r}(\text{Hakuba})$ の散布図である。無積雪期のものは黒丸、積雪期のものは白丸でプロットしてある。図からわかるように、全体の相関係数は0.406であり、無積雪期に限っては、0.579と高くなる。田中(1996)によればこれらの値はいずれも中程度の相関があるとされる。そこで、 ΔT_{A-B} は移動観測により得られたヒートアイランド強度の特徴を定性的に示すものと考えた。ただし、 ΔT_{A-B} は $\Delta T_{u-r}(\text{Hakuba})$ と完全に同じものではないとい

う理由で、本研究では両者を区別し、 ΔT_{A-B} をヒートアイランド強度ではなく都市と郊外の気温差とした。

5.2 都市と郊外の気温差の平均的な特徴

ここでは定点観測によって得られたすべての毎正時の ΔT_{A-B} の月平均値を用いた。この解析は移動観測では限界があった1年間を通したヒートアイランドの時間的な発達過程についての考察を補うために使われる。第9図に縦軸に月、横軸に時刻としたイソプレット図を示す。

全体の傾向としては、7月から9月および2月から4月における18時から24時までの ΔT_{A-B} の平均が比較的大きい。そして、7と8月における12時から18時までの日中や、7月から9月と2月から4月の0時から5時前後の深夜・早朝も大きい。また、最も大きくなったのは4月の日没後から夜半である。

また、日の出後から正午ぐらいまではどの月においてもマイナスになっていた。このことは越谷市における結果(榎原ほか, 1996)に一致し、午前中に都市域中心にクールアイランドが存在する可能性を示唆する。

第10図は1年間の毎正時観測のうち24時間以内に降水があった時刻を選び、 ΔT_{A-B} を平均して作図したものである。図からわかるように、全体的な傾向は類似するが都市と郊外の気温差は第10図の降水のあるケースの方が弱まる傾向が明らかに見られる。

5.3 都市と郊外の気温差の日変化

前節では都市化の影響は降水により小さくなることが示された。そこで都市と郊外の気温差の特徴が明瞭になる降水がないケースを選ぶ。24時間以内に降水がない時刻が1日中続いた日として123日を選び、土地被覆の変化が気温差に与える影響を検討する。そこで積雪や水田に水が引かれる出来事により、1年間を5月2日から8月31日を灌水期、12月24日から4月1日までを積雪期、9月1日から12月23日までおよび翌年4月2日から5月1日をその他の期間に分類し、それぞれ52日、12日、59日を選出した。

太陽の日周運動に応じて都市と郊外の加熱と冷却率の違いの反映としてヒートアイランドの日変化はたびたび確認されている(Oke, 1978)。まず、この点について検討を行う。第11図は先に述べた3つの期間別に都市と郊外の平均気温差 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ の日変化を表したものである。ただし、縦棒はエラーバーで、幅は資料の標準偏差とする。大まかに見るとどの期間も同様な傾向を示し、 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ は日の出と共に小さくなり午前中に

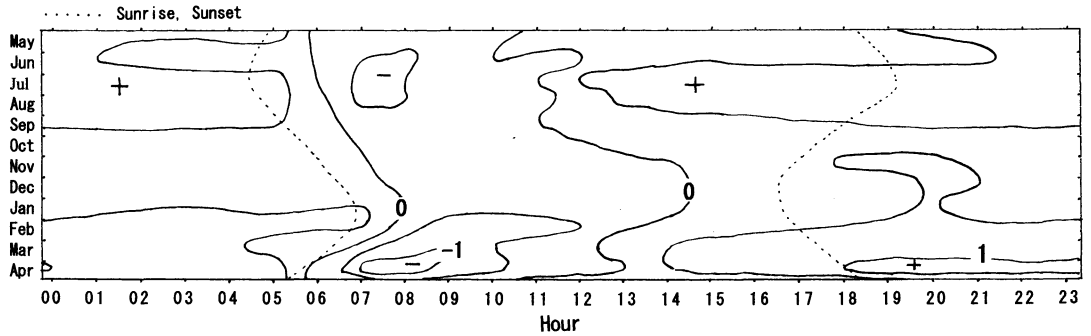


Fig. 9 Contours of the average hourly difference ($^{\circ}\text{C}$) between the temperature at urban and rural station, as a function of month and time.

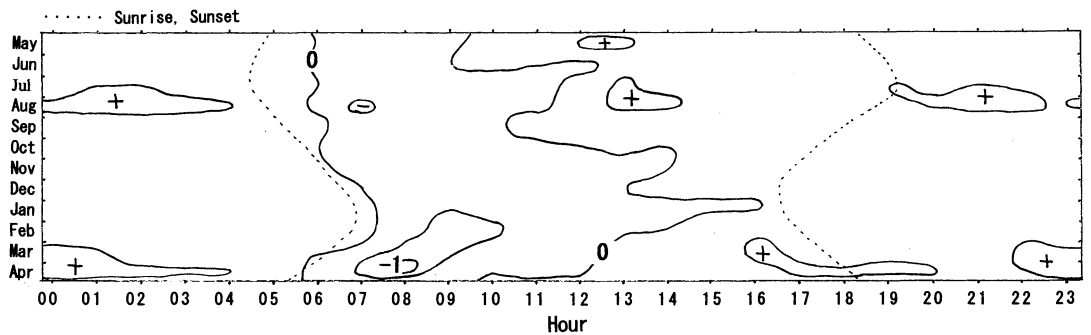


Fig. 10 Contours of the average hourly differences ($^{\circ}\text{C}$) between the temperature at urban (AMeDAS Hakuba) and rural, as a function of month and time (LST), when there is precipitation in previous 24 hours continues in all day.

においてマイナスになった。

午前中に見られる $\overline{\Delta T_{A-B}}$ の低下傾向は日の出後 2 ～ 3 時間後に止まり、その後増大に転じる。そして日の入り前後には増加傾向は小さくなり、日の出前までほぼ一定の値で推移する。午前中の気温差の減少及び増加に転じる時刻は各期間の日の出時刻に応じて差が生じている。

灌水区における日変化パターンは14時において極大になることが他の期間と異なる点である(第11図a)。その後ゆるやかに減少するが、18時に再び $\overline{\Delta T_{A-B}}$ は増加をはじめる。やがて、22時でピークに達しその後やや小さくなる。この日中の極大は、灌水された水田からの潜熱放出が郊外の気温上昇を妨げることにより起こると考えられる。また、この時期は暖候期で気温が高くボーエン比も小さい。積雪期については深夜から日の出前にかけて灌水区やその他の期間より大きな値になっているが、全体としてその他の期間とほぼ同様な日変化をしている。いいかえれば積雪は日変化パ

ターンに明瞭な影響を示さない。大畑(1985)では市街地内外の除雪の有無の違いから日中の気温差の増大を説明していた。今回の市街地もすみやかに除雪されるが、 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ が日中大きくなるような変化は見られなかった。

次に、1日の $\overline{\Delta T_{A-B}}$ が最大になる時刻を検討する。第12図は日最大 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ の時刻別出現頻度を表したものである。 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ が最大になる時間の最頻値は19～22時の時間帯にあり、次いで深夜1時も多くの頻度がある。日の出前後の時間帯が最大になるという頻度は少ない。灌水区は上記時間帯にも同様に多くの出現事例が見られるが、13時を中心とするピークがある。積雪期については事例数が少なく何ともいえない。

日最大気温差の強さが期間毎に違いがあるのかを見るために、 $\overline{\Delta T_{A-B}}$ の階級別頻度を求めた(第13図)。ただし、期間毎に対象日数に差があるので頻度は期間別の総日数に対するパーセンテージで表した。積雪期以外では気温差が1.0～1.9 $^{\circ}\text{C}$ の階級が最多であるのに対

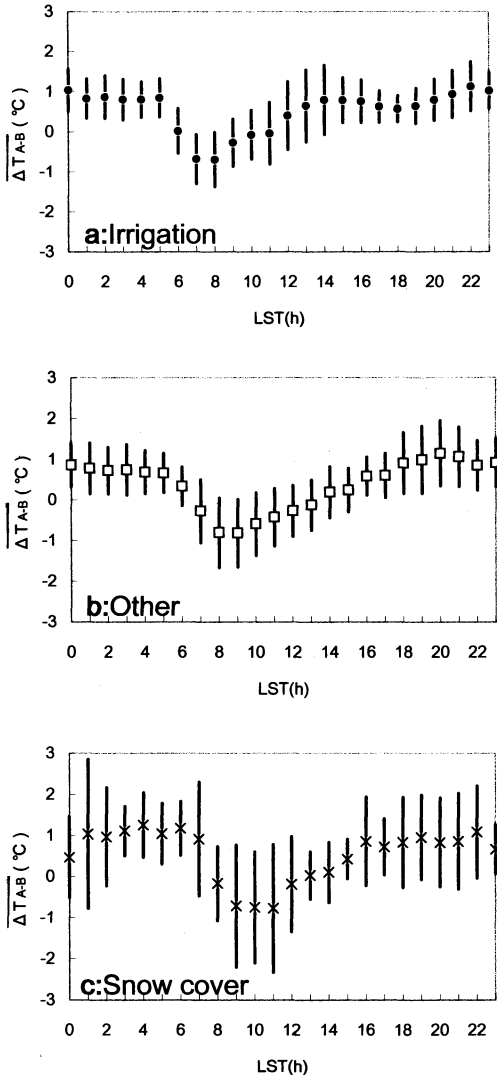


Fig. 11 Diurnal variation of the mean temperature difference ΔT_{A-B} when there is no precipitation in previous 24 hours continues in all day.
 (a) Irrigation, (b) Other, (c) Snow cover.

し、積雪期では2.0～2.9°Cの階級である。また、3°C以上の割合も他の期間より多く、積雪はヒートアイランドの出現を強めるように作用すると考えられる。この点については大畑（1985）の結果と一致する。

5.4 都市と郊外の気温差の季節変化

ヒートアイランドが明瞭に出現する時刻は日没後数時間に多いと前節で示唆されたが、これまでの研究では、日の出前という主張（たとえば、水越・山下，1985）

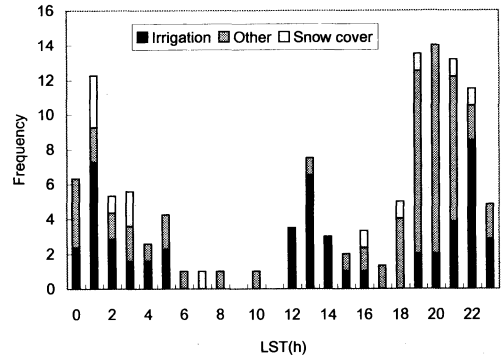


Fig. 12 Frequency of the hours at which ΔT_{A-B} occurred %, when there is no precipitation in the day and the previous day.

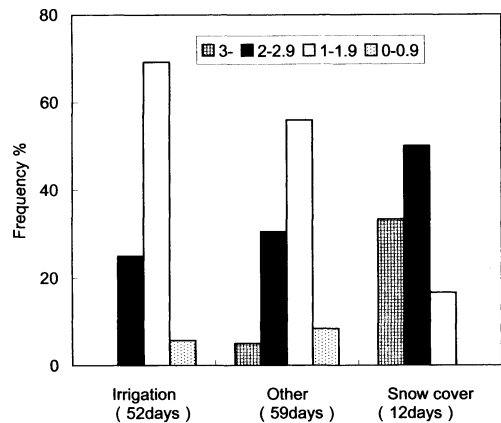


Fig. 13 Frequency of the dairy maximum ΔT_{A-B} classified by temperature difference when there is no precipitation in the day and the previous day.

があり、日中も無視できないとする観測結果（榊原ほか，1996）がある。そこで前節で示したように日没後数時間で最も頻度が多かった20時、正午過ぎに比較的に多く見られた13時、そして日の出前において ΔT_{A-B} の季節変化を検討する（第14図）。ただし、日の出前の ΔT_{A-B} とは日の出前の正時における値とした。また、図中の（ ）内の数字は平均値算出に利用した対象日数である。13時の表示がない月は9月，11月，12月，2月であり，それぞれ ΔT_{A-B} は-0.1，-0.1，-0.5，-0.1である。

ここで、これら3つの時刻の最大値に着目すると、13時と日の出前と比べ20時の気温差は12か月中9か月で最も大きい。最も大きい月は4月であり、1月から

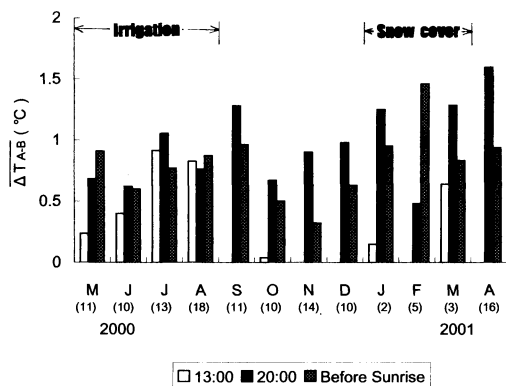


Fig. 14 Seasonal variation in urban/rural difference in monthly mean temperature, when there is no precipitation in the day and the previous day.

3月と9月も比較的大きい。水越・山下(1985)によれば積雪地域では冬に気温差が小さくなる傾向があるとされるが、本研究の結果と一致しない。一方、小さい月は6月、10月であった。日中については7月、8月が大きい月になった。これについては、これまでの研究(たとえば、Ackerman, 1985; 榊原ほか, 1996)に一致する。

6. おわりに

長野県白馬村において自動車の移動観測から求めたヒートアイランド強度およびアメダス白馬と臨時に設けた定点観測所から求めた都市と郊外の気温差から、以下のことが明らかになった。

- (1) 積雪期には一般に、夜間ヒートアイランド強度は大きくなり、変動の幅も大きくなる。
- (2) 積雪期の気温差の日変化パターンはその他の期間と類似し、日の出後急激に小さくなり2～3時間後には上昇に転じ、その後日の入り前後まで増加は続く。
- (3) 灌水期には13時から14時において極大になる時間帯がある。
- (4) 気温差が最大になる時刻は日の出前ではなく、19時から22時が多い。
- (5) 都市と郊外の気温差が大きくなる月は20時においては1月、3月、4月と9月であり、日中は7月、8月が大きい。

今後このように独自に定点観測所を設けて調査を行う場合、自然通風放射除けの特性については吟味が必

要であろう。本文で述べたとおり夏季における日の出後から正午前の時間帯では自然通風放射除けの気温測定値は過大評価するという報告があるからである。

1年を通して強制通風シェルターによる測定値と比較検定を行い、その程度が無視しうるものなのかを明らかにすることが求められる。

謝 辞

現地調査にあたって協力をいただいた白馬村役場の職員の方々、定点観測用測器設置場所を快く提供していただいた白馬村の横山武弘氏、アメダスデータ収集にご協力いただいた長野地方気象台職員の嶋川寿美男氏に、厚く御礼申し上げます。また、長野県自然保護研究所の浜田 崇氏には有益なコメントをいただきました。謝意を表します。

参 考 文 献

- Ackerman, B., 1985: Temporal march of the Chicago heat island, *J. Climate Appl. Meteor.*, **24**, 547-554.
- 近藤純正, 2000: 地表面に近い大気科学, 東京大学出版会, 324pp.
- 水越允治, 山下修二, 1985: 気候学入門, 古今書院, 144 pp.
- Morris, C. J. G. and I. Simmonds, 2000: Quantification of the influence of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city, *J. Appl. Meteor.*, **40**, 169-182.
- 大畑哲夫, 田中洋一, 渡辺興亜, 樋口敬二, 1985: 積雪都市のヒート・アイランド現象, *天気*, **32**, 87-95.
- Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island, *Atmos. Environ.*, **7**, 769-779.
- Oke, T. R., 1978: *Boundary Layer Climate*, John Wiley and Sons (斎藤直輔・新田 尚訳, オーク, 1981: 境界層の気候, 朝倉書店, 324pp).
- 榊原保志, 1999: 長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係, *天気*, **46**, 567-574.
- 榊原保志, 原 芳生, 加藤俊洋, 1996: 越谷市南東部における臨時定点観測によるヒートアイランド強度の特徴, *天気*, **43**, 537-543.
- 田宮兵衛, 1979: 小気候・局地気象—特に移動観測の方法について—, *天気*, **26**, 633-640.
- 田中 敏, 1996: 実践心理データ解析, 新曜社, 357pp.
- 牛山素行編, 2000: 身近な気象・気候調査の基礎, 古今書院, 195pp.
- 山添 謙, 一ノ瀬俊明, 1994: 東京およびその周辺における秋季夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド,

Temporal March of the Heat Island in Hakuba, Nagano

Yasushi SAKAKIBARA* and Akinori MORITA**

* (*Corresponding author*) Faculty of Education, Shinshu University, Nagano, 380-8544, Japan.

e-mail : ysakaki@gipwc.shinshu-u.ac.jp

** Japan Agricultural Co-operatives Daihoku.

(Received 7 November 2001 ; Accepted 21 August 2002)

Abstract

Temperature data at 74 points around Hakuba village, Nagano prefecture, Japan, which is surrounded by paddy fields were collected by automobile travelling method. The heat island intensity is estimated by the difference between the average temperature of the warmest three points in urban areas and that of coldest three points in rural areas. The hourly temperature differences between Hakuba AMeDAS, a representation of an urban site, and a temporary meteorological station in the central part of paddy field are also calculated using one year of data. The principal results of the present paper are as follows : Heat island intensity and its variance in snow season are larger than those in other seasons. The nighttime (2000 LST) temperature difference in January, March, April and September is larger than that in other months and the daytime temperature difference in July and August is larger than that in other months. Diurnal variation of temperature difference in snow season is similar to that in other seasons. The temperature difference is small after sunrise, but starts to increase from 2-3 hours after sunrise until sunset. The peak of the temperature difference occurs at 1300 and 1400 LST in irrigation season. The temperature difference attains at its maximum between 1900 and 2200 LST but not before sunrise.
